

2023 年（令和 5 年度）

プラズマ種子科学研究会 講演予稿集

主催：

名古屋大学低温プラズマ科学研究センター
名古屋大学農学国際教育研究センター
九州大学プラズマナノ界面工学センター
COI-NEXT 「持続可能な農業生産性向上を実現する
プラズマアグリサイエンス拠点」
東北大学非平衡プラズマ学際研究センター

後援：

日本植物学会，日本作物学会，
日本植物バイオテクノロジー学会
日本植物生理学会，日本農芸化学会，
日本土壤肥料学会
応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会
プラズマ・核融合学会
名古屋大学 融合フロンティアフェローシップ事業
アジア未来創造分野

第二回プラズマ種子科学研究会

日時：2024年1月6日（土）午後～7日（日）午前

形式：日本語，（一部 英語）

参加費：無料 一般申込み受付可

会場：名古屋大学東山キャンパス EI創発工学館 FUJIホール

名古屋市営地下鉄東山線 「名古屋大学」駅下車 徒歩5分



開催趣旨：

プラズマ照射した種子の発芽や植物の成長の促進が、農業の新しい技術として注目されています。種子は主要な農作物であり、食料をはじめ、医療、資源・エネルギーの多くの分野で利用され、農業生産においては種子が鍵を握っているといっても過言ではありません。作物育種のみならず、地球規模の環境変動は、植物の環境ストレス耐性を逸脱し、環境の温度、栄養レベル、光の状態を感知し、休眠状態から発芽のタイミングを決定する機構に少なからず影響を与えています。しかしながら、低温プラズマ照射は短寿命な活性種の応用は、休眠打破などに作用が認められることによって作物栽培などに有用な結果が見出されています。そのため、本研究集会では、両分野に共通する活性種に焦点を当て、植物科学・低温プラズマ科学の2つの分野に共通する専門家をお呼びして討論できる機会を設けます。多くの皆様のご参加をお待ちしております。

プログラム すべての講演が招待講演となります。

2024年1月6日(土) (講演時間には質疑10分目安を含みます)

13:00 (20分) 開会の辞 古閑一憲 (九州大学)

13:20 (30分) 「植物ホルモン作用による植物成長調節のしくみ」

榊原 均 (名古屋大学 大学院生命農学研究科)

13:50 (30分) 「植物ホルモン作用の制御を介した、温度による発芽制御の分子機構」

川上 直人 (明治大学)

14:20 (30分) 「イネの基礎研究から社会実装へ」

土井 一行 (名古屋大学 大学院生命農学研究科)

14:50 休憩 (20分)

15:10 (30分) 「イネの高収量生産と高品質・良食味生産」

新田 洋司 (福島大学)

15:40 (30分) 「プラズマ駆動生化学反応」

原 宏和 (岐阜薬科大学)

16:10 (30分) 「プラズマ照射とタンパク質・酵素」

萩原 義徳 (久留米工業高等専門学校 生物応用化学科)

16:40 休憩 (20分)

————特別講演 Global plasma forum (講演言語: 英語) ————

17:00 (30分) 「Nitrogen fixation and plasma agriculture: PIAgri European COST action network and activities」

Zdenko Machala (Comenius 大学, スロバキア)

17:30 (30分) 「Plasma agriculture work with plasma NO water in Korea」

Eun Ha Choi (光云大学校, 韓国)

2024年1月7日(日) (講演時間には質疑10分目安を含みます)

9:00 (30分) 「プラズマ活性種の計測・反応理解・制御と植物応答」

佐々木 渉太 (東北大学)

9:30 (30分) 「滋賀大学におけるデータサイエンスと分子シミュレーションの取り組み」

高柳 昌芳 (滋賀大学データサイエンス・AIイノベーション研究推進センター)

10:00 (30分) 「次世代の胚を保護するシロイヌナズナの種皮細胞壁とその形成メカニズム」

國枝 正 (奈良先端科学技術大学院大学)

10:30 休憩 (15分)

10:45 (30分) 「ゼニゴケの細胞分裂・成長制御における活性酸素種の役割と、低温プラズマ照射の影響の解析」

坪山 祥子・朽津和幸 (東京理科大学 大学院創域理工学研究科)

11:15 (30分) 「ソルガムの発芽・生育へのプラズマ照射の効果と今後の研究展開」

柳川 由紀 (千葉大学)

11:45 (15分) 閉会の辞 古閑一憲 (九州大学)

植物ホルモン作用による植物成長調節のしくみ

榭原 均

名古屋大学大学院生命農学研究科

E-mail: sakaki@agr.nagoya-u.ac.jp

概要

動物とは異なり、植物には植物固有の環境変化検知機能、生体維持・調節機能などが備わっている。特に植物の器官形成は、それを取り巻く環境によって極めて可塑的に制御されている。それにより、成長と代謝のバランス、根系と地上部の成長バランスが最適化されている。このような個体レベルでの成長制御を実現するためには、細胞間のみならず、器官間での情報のやりとりが必要であり、その一翼を担うのが植物ホルモンである。

サイトカイニン¹は陸上バイオマスの源である茎頂の幹細胞維持に必須のホルモンである。サイトカイニンの生合成や根から地上部への長距離輸送は、根圏や生体内の窒素栄養環境などに応答して制御されており、植物の生産機能向上を図る上で、このホルモンの作用機作の分子レベルでの理解は極めて重要である。私たちはサイトカイニンの生合成と輸送に関わる鍵遺伝子を世界に先駆けて同定し、その栄養応答発現制御機構を明らかにした。また、サイトカイニンのプレニル側鎖が持つ構造多様性と生理作用に着目し、根で起こるプレニル側鎖末端修飾と、それにより合成される trans-zeatin の道管を經由した地上部への輸送が、茎頂幹細胞や茎の形成層細胞の機能維持に必要であることを見出した。さらに道管を介して根から輸送されるサイトカイニン分子種が、茎頂分裂組織内の微空間で輸送と代謝が高度に制御されることで、茎頂幹細胞機能維持のための位置情報を生み出すというモデルを構築するに至っている。このように、植物はサイトカイニンの生合成系、輸送系を巧みに制御することによりサイトカイニン情報に量的・質的な違いと方向性を持たせ、情報の組織化を行うことで、様々に変化する環境状態に応答した調和的な成長調節を可能にするしくみを持つことが明らかになった。本講演では、この分子機構について最近の知見も織り交ぜながら紹介したい。

植物ホルモン作用の制御を介した、温度による発芽制御の分子機構

明治大学農学部生命科学科 川上直人
kawakami@meiji.ac.jp

種子が発芽するタイミングは、種子の内的要因である休眠性と、水分、光、温度などの外的環境要因によって決定される。たとえば、春に野外で採取した冬型一年生草本の種子は強い休眠性を持ち、至適条件で吸水させても発芽しない。春から秋にかけて、休眠性の低下と共に発芽可能な温度の上限が上昇し、環境の温度が上限を下回る秋に発芽する。したがって、種子は周囲の温度をモニターして発芽の可否を判断しつつ、温度反応性を変化させることにより発芽のタイミングを決めていると言える。

アブシシン酸 (ABA) は発芽を抑制し、ジベレリン (GA) は発芽を誘導する植物ホルモンとしてよく知られている。高温は ABA 合成酵素遺伝子の発現を高め、GA 合成酵素遺伝子の発現を抑制することにより、発芽を抑制する。一方、種子が温度を感知して遺伝子発現の制御に至る経路や、その制御のしくみは明らかにされていない。私達は、温度は光情報伝達経路と共に、温度に特異的な、未知の経路を介して発芽を制御することを示す結果を得ている。

作物生産において、収穫前の発芽は種子の品質と収量を、発芽の不揃いは生産効率を大きく低下させる。穀類の穂発芽耐性 (種子休眠性) 量的遺伝子座 (QTL) 解析から見出された遺伝子の配列情報は分子育種のマーカーとして活用されつつあるが、これらの遺伝子がどのような経路で、どのようにして発芽を制御しているかは明らかにされていない。私達は、これらの遺伝子の働きをシロイヌナズナを用いて解析し、種子の成熟から発芽 (生殖成長から栄養成長) への転換タイミング、あるいは発芽可能な温度範囲を制御する仕組みの一端を明らかにしてきた。さらに、世界中に分布するシロイヌナズナの野生株を利用し、発芽の温度反応を制御する QTL の解析を行っている。

この研究会では、種子の休眠と発芽の遺伝的制御と環境要因、特に温度による制御について概観するとともに、私達の研究の一端を紹介する。また、気候変動に対応した作物生産への寄与についても考えてみたい。

イネの基礎研究から社会実装へ

土井一行, 楨原大悟*, 芦荊基行**

名古屋大学大学院生命農学研究科

*名古屋大学農学国際教育研究センター

**名古屋大学生物機能開発利用研究センター

Email: kdoi@agr.nagoya-u.ac.jp

「WISH プロジェクト」は基礎研究の成果をなんとか途上国のイネ生産に役立てたい、そして飢餓撲滅につなげたい、という「願い」をこめ、名古屋大学の研究者を中心に2010年に結成した。もともとは *Gn1a* 遺伝子の単離同定 (Ashikari, Sakakibara et al. 2005) がきっかけとなり、このような基礎研究における発見を研究室レベルでなく、実際の現場で試してみたいというモチベーションからスタートした。通常の研究組織とは異なり、同じ志を共有する「部活」に近い位置づけで、メンバーの努力によりなんとか活動を続けてきた。

WISH プロジェクトでは、marker-assisted backcrossing (MABC) と呼ばれる、DNA マーカーを利用した戻し交雑育種を行ってきた。WISH プロジェクトにおいて育成した系統はケニアにおける新品種の候補として評価を進めており、そのうちの2系統については品種登録のための評価を行っている。その中でも、現地の品種である NERICA1 に *Gn1a* および *WFP* 遺伝子の有用アレルを導入した系統は有望であり、NERICA1 と比較して大幅な増収が得られている。また、今後は新品種をサブサハラアフリカに普及するとともに、人材育成と技術移転を行っていくことも目標となっている。

ところで、*Gn1a* や *WFP* により1穂の粒数が増加した系統では登熟が不安定となり、期待よりも収量の増加が得られない。登熟を安定させる有用遺伝子を見つけるための実験を行ってきたが、多くの登熟関連形質は環境の影響を大きく受け、反復を行っても一貫した結果を得ることが難しい。このため、多数の個体を扱いたい遺伝解析は非常に困難となっている。演者が直面しているこの困難についても紹介する。

イネの高収量生産と高品質・良食味生産

新田 洋司
(福島大学食農学類)

Email:nittay@agri.fukushima-u.ac.jp

1. 水稻の収量

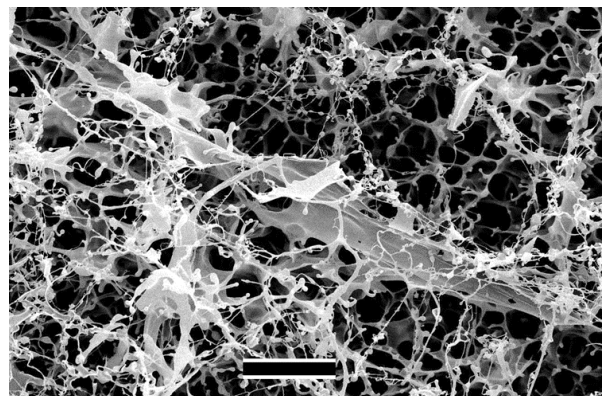
日本における水稻の10a当たり収量は、江戸時代のおよそ150kgから、明治時代には200~250kg、大正時代・昭和時代初期には300kgであり徐々に増加した。戦後になると改良品種の導入・作付けや化学肥料の利用拡大で収量の増加は急で、1960年ごろには400kgで、1984年には500kgを超え、それ以降、現在に至るまで高いレベルで安定している。

2. 米の成分と食味

うるち米の主成分はおよそ70%を占めるデンプンであり、デンプンはアミロース(およそ20%)とアミロペクチン(80%)とからなる。近年、うるち米の玄米や白米の食味は、「食味計」によって評価される場合が多い。「食味計」は、白米では水分に加えてタンパク質含有率、アミロース含有率を、玄米ではそれらに加えて脂肪酸度を測定し、それらの値を要因として「食味値」を算出する。一般に、タンパク質含有率、アミロース含有率が低いと「食味値」が高い。アミロース含有率は品種依存性が高く、栽培制御で大きくかわることはないが、タンパク質含有率は窒素施用量が多いと高く、少ないと低くなるため、水稻の生育中期・後期の窒素施用を手控える動きがある。

3. 良食味炊飯米の構造的特徴

炊飯米や白米を、特殊な方法で試料調整をし、電子顕微鏡で観察することにより、食味の異なる炊飯米の特徴をみきわめることができる。良食味炊飯米の表面の明るい部分(明部、ざらざらした部分)は、糊化が進み、網目状構造や進展した糸状の構造が発達している。しかし、低食味炊飯米の表面は、糊化が進まず、硬く、溶岩の表面のような構造を呈している。良食味炊飯米の内部では、スポンジの穴があいたような多孔質構造が発達している。しかし、低食味炊飯米の表面は、糊化が進まず、細胞壁や糊化しないデンプンの構造がそのまま残っている。したがって、良食味炊飯米は、食した際に、やわらかさ、粘り、弾力、なめらかさをもたらす。



水稻品種「つや姫」炊飯米の表面の明部(走査電子顕微鏡写真) Bar: 1/100mm

4. 高品質・良食味米の作物学的特徴

同じ品種でも、粒厚が厚い玄米、粒重が重い玄米は、食味関連形質とタンパク質含有率やアミロース含有率との関係が弱くなるため良食味であると判断される。全国でアミロース含有率やタンパク質含有率で米を選別したり、粒厚で玄米を選別したりする動きがあるが、良食味米の特徴が活かされていると考えられる。

5. 収量、品質・食味にたいする環境影響

上述のように、現在、水稻の収量は高いレベルで安定しているが、環境や気象条件の影響は大きく、低温による影響では「平成の大冷害」といわれた1993年や2003年の冷害、1980~83年には毎年冷害で収量が著しく低下した。加えて、冷害時に近い気圧配置の年も時折みられている。一方、近年、夏季の高温で白色不透明部を有する玄米(白未熟粒)が多発し、品質・食味の低下が指摘されている。このような環境変動による影響を受けないイネ、水稻作が求められている。

プラズマ照射処理をした種子による高い収量での安定生産、高品質・良食味米の生産が期待される。

プラズマ駆動生化学反応

原 宏和

岐阜薬科大学

大気圧下で生成された低温プラズマ (NTP) は、直接あるいは間接的に組織や細胞に照射することで、血液凝固や創傷治癒などの生理活性を発揮することが報告されている。その機序については現在も不明な点が多いが、NTP を照射した溶液中には、多くの活性酸素種 (ROS) や活性窒素種 (RNS) が含まれていることから、これら活性種による細胞内のタンパク質などの酸化修飾が NTP により誘発される細胞応答に関与していると考えられている。

プラズマ活性化培地 (PAM) は、選択的にがん細胞を死滅させることから、NTP は新しいがん治療法として期待されている。我々は、PAM によるがん細胞死の機序解明に取り組み、がん細胞への PAM 負荷が細胞内の NAD^+ を低下させ、ATP 減少を伴うエネルギー代謝障害を引き起こすことを明らかにした。がん細胞では糖やアミノ酸代謝のリプログラミングが起き、 NAD^+ 代謝の亢進やグルタミン (Gln) の需要が増大している。それゆえ、PAM による NAD^+ 代謝の抑制は PAM のがん細胞選択的な細胞死に関与しているのではないかと考えている。また、Gln 代謝経路の阻害は、ATP 産生の減少に加え、抗酸化物質であるグルタチオンの産生も抑制したことから、Gln 代謝経路の阻害は酸化ストレスに対する細胞の感受性を増大させることで PAM の細胞傷害を増強することも見出した。

NTP 照射により産生される ROS や RNS などの活性種は、一連の生化学的な反応である代謝経路に影響を及ぼすことで、細胞死などさまざまな生物学的応答を引き起こすと推察される。本講演では、プラズマが誘発する生化学反応について我々の研究成果を中心に紹介する。動物細胞を用いた内容であるが、プラズマ種子科学の理解につながるような議論ができればと考えている。

プラズマ照射とタンパク質・酵素

萩原 義徳

久留米工業高等専門学校 生物応用化学科

Email: hagiwara@kurume-nct.ac.jp

植物種子を始めとする生体試料へのプラズマ照射によって、成長促進や収穫量増量、品質向上などが報告されており、それらの分子メカニズムの解明と応用に向けた研究が精力的に進められている。

そのプラズマ照射による副次的な生成物として、大気中では酸素ラジカル、窒素ラジカル、ヒドロキシラジカルが発生し、溶液中においては過酸化水素、亜硝酸イオン、硝酸イオンなどを生じて、これら活性種が細胞に対しての大きな化学的ストレスになると考えられる。さらに、プラズマ照射の細胞内タンパク質への影響として、タンパク質を構成するペプチド結合が分解される報告がいくつかなされているが¹⁻³、その詳細なメカニズムは明らかとなっていない。

本研究では、スケーラブル誘電体バリア放電プラズマ装置を用いたタンパク質への影響を、マトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間質量分析計 (MALDI-TOFMS)を用いて調べた。その結果、タンパク質にプラズマを照射するとペプチド結合が切断され、ポリペプチド断片が多数発生することが見出された。また、特定の分子サイズのマススペクトルが検出されたことから、この断片化には一定の規則性があることが示唆された。そして、実験に用いたタンパク質のアミノ酸配列とプラズマ照射によって生じた断片サイズを解析した結果、N末端側に側鎖構造がシンプルなアミノ酸であるグリシンおよびアラニン、C末端側には芳香族アミノ酸であるチロシンおよびトリプトファンが存在する配列で切断されやすい傾向があることを示された。本講演において、これらの詳細および今後の展望について紹介するとともに、様々な議論を交えたい。

参考文献

1. T. Ohshima, *et al.*, *J. Inst. Electrostat. Jpn.*, **33**, 14-19, (2009).
2. I. Motrescu, *et al.*, *Soft Matter*, **7**, 4845-4850, (2011).
3. 白藤 立、呉 準席、中谷 大樹、前澤 詩織、高岡 素子、*日本表面真空学会学術講演会*、(2021).

Nitrogen fixation and plasma agriculture: PIAgri European COST action network and activities

Zdenko Machala, D. Sc, Professor

Comenius University Bratislava, Slovakia

E-mail: machala@fmph.uniba.sk

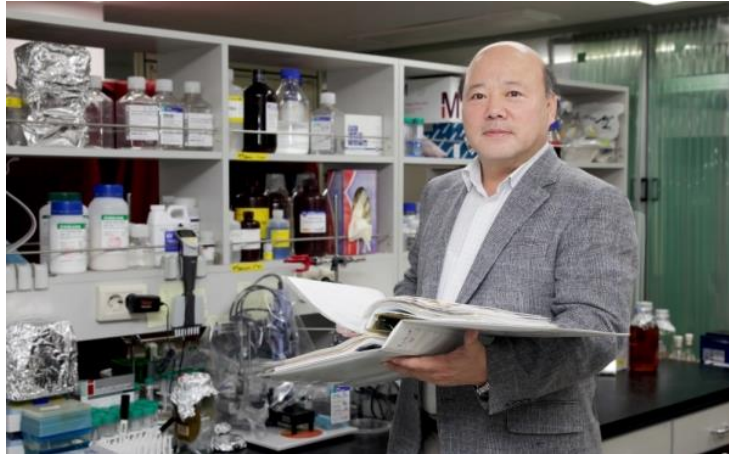


Plasma agriculture work with plasma NO water in Korea

Eun Ha Choi, Dr, Professor

Kwangwoon University, Korea

E-mail: ehchoi@kw.ac.kr



プラズマ活性種の計測・反応理解・制御と植物応答

佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
東北大学 大学院工学研究科
E-mail: s.sasaki@tohoku.ac.jp

概要

大気圧下にて、高い電子温度 ($> 1\text{ eV}$) を有しながら、低いガス温度に維持されている『低温プラズマ』は、荷電粒子・励起種・活性種・紫外線が混在する独特な反応場を生成できる。2000年代以降、低温プラズマの物理化学特性は重点的に研究されており、近年では医療・農業・環境分野での応用研究に発展している。特に、生物に対する低温プラズマ処理は、興味深い応答を多種多様に惹起することが報告され、世界中でプラズマ作用の機序解明が進められている。これまでに、空気中の窒素・酸素・水分子を由来とする気相活性種 $\text{H}_x\text{N}_y\text{O}_z$ 、液相に作用して新たに生成される液相活性酸素・窒素種や活性生体分子（有機酸、アミノ酸/ペプチド/タンパク質、脂質など）が重要な作用因子であることが報告されている。

従って、対象物に到達する活性種や活性生体分子を制御することが、所望のプラズマ作用を得るための鍵と考えられる。しかしながら、プラズマ誘起反応場は、気相・液相いずれにおいても、数十を超える化学種が複雑な反応ネットワークを形成しており、それぞれの制御・定量測定・分離が極めて難しい。また、定量が可能な活性種はごく僅かのため、活性種組成の全体像を得るためには、計算シミュレーションが欠かせないが、精度の高い化学反応モデルは未だ確立されていない。

本講演では、対象物に到達する活性種組成を「知る」もしくは「制御する」ために、これまで確立してきた実験系や計算シミュレーションを紹介する。また、一つの実例として、プラズマ技術を用いた空気からの活性種 [五酸化二窒素 (N_2O_5), オゾン (O_3), 一酸化窒素 (NO) / 二酸化窒素 (NO_2)] の選択合成 [1] を題材に、モデル植物であるシロイヌナズナの各活性種に対する応答 [2] を紹介する。

- [1] S. Sasaki, K. Takashima, and T. Kaneko, “Portable Plasma Device for Electric N_2O_5 Production from Air”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **60** (2021) 798.
- [2] D. Tsukidate, K. Takashima, S. Sasaki, S. Miyashita, T. Kaneko, H. Takahashi, and S. Ando, “Activation of plant immunity by exposure to dinitrogen pentoxide gas generated from air using plasma technology”, *PLOS ONE*, **17** (2022) e0269863.

滋賀大学におけるデータサイエンスと 分子シミュレーションの取り組み

高柳 昌芳

滋賀大学 データサイエンス・AIイノベーション研究推進センター
統計数理研究所 大学統計教員育成センター（クロスアポイントメント）

Email : m-takayanagi@biwako.shiga-u.ac.jp

最も典型的なデータサイエンス (DS) の活用目的は、回帰、層別、判別、予測などのデータ分析手法を通しての問題解決であり、近年のコンピュータ性能の向上に伴うデータ規模の拡大およびアルゴリズムの進化により、活用範囲が急速に拡大している。本発表では、DSに加え、私の専門とする分子シミュレーション分野の知見を活用しての滋賀大学における産学連携活動について紹介する。

滋賀大学は2017年4月に日本で初となるDS学部を創設した。この背景には、アメリカなど諸外国では統計学部などで多数の統計専門家の育成がなされているのに対し、日本には統計学部が存在せず、各地の統計を専門とする教員の下で細々と統計専門家が育成されてきたことがある。そしてDS学部創設後の滋賀大学は、多数の企業と共同研究、コンサルティング、社員への教育活動など多彩な産学連携活動を実施してきている。共同研究の中には、私の元来の専門である分子シミュレーション技法を活用しているものが存在する。

以上の滋賀大学におけるDSを活用しての主として産学連携の取り組みについて、また私自身の専門としてきた分子シミュレーション技法を活用しての研究活動の一部を紹介する。具体的には、局所回帰モデリングを活用しての自立適応制御手法の開発[1]、分子動力学シミュレーションによるSiO₂表面における水/イソプロピルアルコール混合溶液の吸着現象の分析[2]がある。また、私が過去に実施してきたヒトヘモグロビンにおける酸素分子移動経路の統計的分析[3]について重点的に報告する。

参考文献

- [1] [Takayanagi, M.](#) et al. (2023). Amorphous SiO₂ Surface Irregularities and their Influence on Liquid Molecule Adsorption by Molecular Dynamics Analysis. ECS Journal of Solid State Science and Technology, 12(8), 083003.
- [2] [Takayanagi, M.](#) et al. (2022). Autonomous adaptive control of manufacturing parameters based on local regression modeling. Behaviormetrika, 0123456789.
- [3] [Takayanagi, M.](#), Kurisaki, I., & Nagaoka, M. (2013). Oxygen Entry through Multiple Pathways in T-State Human Hemoglobin. The Journal of Physical Chemistry B, 117(20), 6082–6091.

次世代の胚を保護するシロイヌナズナの種皮細胞壁とその形成メカニズム

國枝正

奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス領域

Email : kunieda-t@bs.naist.jp

種子植物の散布体である種子において、次世代組織の胚を覆う種皮は植物が陸上の環境に適応するために獲得した戦略組織である。周囲の環境ストレスから子である胚を保護するために、親組織である種皮は様々な防御構造を発達させた。そのような種皮の防御構造として、代表的な実験植物のシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*) は特殊な細胞壁構造である“ムシレージ”を形成する。ムシレージは種子の周りに保水性に優れたゲル状のカプセルとして形成され、発芽時の乾燥から胚を保護する役割を担っている。我々は、ムシレージの形成に関与する因子を複数同定し、それら因子によるムシレージの形成制御メカニズムをこれまでに明らかにしてきた。

受精によって種子形成が開始すると、シロイヌナズナの種皮の表皮細胞はセルロースやペクチンといった細胞壁を構成する多糖分子を活発に合成するようになる。これらのうち、細胞内膜系オルガネラのゴルジ装置で合成されたペクチンは、小胞輸送によって細胞膜外へと分泌され、ムシレージポケットと呼ばれる細胞膜と一次細胞膜の間の空間に大量に蓄積される。この過程において、ゴルジ装置に局在するユビキチン E3 リガーゼの FLYING SAUCER 1 (FLY1) および FLY2 がムシレージペクチンのメチルエステル化制御に関与し、また、ペクチンの分泌輸送には *trans*-Golgi network (TGN) に局在するアダプタータンパク質複合体の構成因子である AP1M2 が制御することをそれぞれ見出した (文献 1,2)。一方、分泌後にムシレージポケットに蓄積されたペクチンは、完熟した種子が水に触れると吸水して体積を著しく膨張させ、その圧力によって一次細胞壁を物理的に破壊して種皮から放出される。ペクチンの放出と同時に種皮表皮細胞から放射状に伸びたセルロース微繊維を足場にして、ペクチンが種子の周りに展開することでムシレージカプセルが完成する。我々は種子吸水から数秒という極めて短い時間で起こるムシレージのカプセル形成において、分泌型ペルオキシダーゼ PEROXIDASE 36 (PER36) が関与することを明らかにした。PER36 は種皮細胞の分化を冗長的に制御する植物特異的な NAC 転写因子である *NAC REGULATED SEED MORPHOLOGY 1* (NARS1) および *NARS2* の転写制御下で、種子形成初期に種皮表皮細胞で一過的に発現し、かつ、ペクチン放出の際に破壊される特定の一次細胞壁に局在する (文献 3,4)。*per36* 変異体ではペクチンの放出遅延が起こることから、種皮表皮細胞はペクチンの放出を見越して種子形成の初期段階においてすでに一次細胞壁の力学的強度を弱めていると考えられる。ペルオキシダーゼは酵素反応の過程でヒドロキシラジカル ($\cdot\text{OH}$) を産生し、 $\cdot\text{OH}$ は細胞壁多糖分子の切断を引き起こすことが知られている。 $\cdot\text{OH}$ はプラズマ照射によって生成される活性種の一つでもある。本発表では、ムシレージという発芽のために巧みに進化させてきた種皮細胞壁の形成メカニズムを紹介するとともに、PER36 の機能をもとにプラズマ照射によって起こり得る細胞壁の構造変化について議論したい。

【参考文献】

- 1) Kunieda et al., *Plant Cell Physiol.* 61(2):308–317 (2020)
- 2) Shimada and Kunieda et al., *Plant Cell Physiol.* 59(11):2331–2338 (2018)
- 3) Kunieda et al., *Plant Cell* 20(10):2631–2642 (2008)
- 4) Kunieda et al., *Plant Cell* 25(4):1355–1367 (2013)

ゼニゴケの細胞分裂・成長制御における活性酸素種の役割と、 低温プラズマ照射の影響の解析

坪山 祥子, 朽津 和幸

東京理科大・院・創域理工・生命生物科学/農理工学際連携

email: tsuboyama@rs.tus.ac.jp; kuchitsu@rs.tus.ac.jp

活性酸素種 (reactive oxygen species; ROS) は反応性が高く、強い毒性を持つため、植物は多様な ROS 消去機構を備えている。一方で植物は、NADPH oxidase/RBOH 等の酵素により積極的に ROS を生成する。RBOH の活性は厳密に制御されており、陸上植物に保存された 2 箇所の Ser 残基がリン酸化されると Ca^{2+} の結合親和性が高まり、 Ca^{2+} とリン酸化により相乗的に活性化される (Hashimoto T *et al.* 2023)。RBOH による細胞壁空間への ROS 生成が、 Ca^{2+} を介した制御系と共に ROS- Ca^{2+} シグナルネットワークを形成し、成長・発生・生殖、細胞の分裂・極性先端伸長・分化・プログラム細胞死、細胞壁の制御、高速長距離シグナル伝達 (Watanabe K *et al. in press*) 等、植物の高次機能の基盤となる情報統御系の根幹で重要な役割を果たす。

苔類ゼニゴケは、遺伝子構成や体制が単純だが陸上植物に共通な遺伝子の保存性が高く、生活環の大部分が半数体で遺伝学的解析が容易である上に、遺伝的背景の統一やゲノム編集などの遺伝子工学的実験系が確立されている有用なモデル植物である。私たちは、ROS- Ca^{2+} シグナルネットワーク関連因子の機能欠損変異体を網羅的に作出し、成長・ストレス応答制御における ROS の役割やその分子機構の解明を進めている。ROS の積極的な生成能が失われた *rboh* 欠損二重変異体では、細胞分裂・分化と共に *cyclin* 等の遺伝子発現が強く抑制されることを見出し、ROS 下流の遺伝子制御ネットワークの解析を進めている。

近年、プラズマ照射した植物における、種子発芽や成長の促進効果が報告されている。大気中でプラズマを発生させると、多様な活性酸素・窒素種 (RONS) が生成されることから、その効果には RONS の関与が想定されるが、分子機構はほとんど不明である。我々は、植物に対するプラズマ照射の影響の分子機構解明を目指して、ゼニゴケを用いたプラズマ照射実験系を構築した。スケールラブル誘電体バリア放電プラズマ源を用いて、ゼニゴケ無性芽にプラズマ照射したところ、種子と同等の照射条件では、成長抑制、形態異常、細胞死が誘導される一方で、低電圧照射では強度依存的に成長が促進されることを見出した。さまざまな染色法や *cyclin* 等の細胞分裂マーカー等を利用して、無性芽組織に対するプラズマ照射の影響の分子細胞生物学的解析を進めている。また、プラズマ照射により植物細胞に誘導される初発反応を解析するために、顕微鏡下でのプラズマ照射が可能な小型のペン型プラズマ源を開発・導入し、蛍光ライブイメージング解析を進めている。その結果、プラズマ照射直後、植物細胞内に H_2O_2 が導入され、細胞質の H_2O_2 濃度が上昇すると共に、 Ca^{2+} チャネルを介した細胞質 Ca^{2+} 濃度の一過的な上昇が誘導されることを見出した。

このようにゼニゴケは、植物へのプラズマ照射効果の分子機構を解析する上で、優れたモデルと期待され、プラズマ照射による植物細胞・組織の応答に関与する因子の同定を進めている。

ソルガムの発芽・生育へのプラズマ照射の効果と今後の研究展開

柳川由紀

千葉大学大学院 園芸学研究院

Email : yuki.yanagawa@chiba-u.jp / ykyana@gmail.com

世界の人口増加により食料やエネルギー資源の需要が拡大しており、また循環型社会を目指す上でも効率的に農作物や資源植物を栽培することが期待されている。さらに、日本のような高齢化及び人口減少社会においては、科学技術によって農業従事者の減少を補う必要がある。近年、シロイヌナズナやイネなどのモデル植物で、プラズマを種子や植物体に照射すると発芽や生育が促進するという報告がある。そこで、プラズマによる種子の発芽や生育促進が植物に普遍的なのか、またそのメカニズムについて明らかにすべく、ソルガム(*Sorghum bicolor*)を用いてプラズマによる発芽・生育促進について研究を行った。

ソルガムは世界五大穀物の1つとして、またバイオエタノール原料として注目されている植物であり、ソルガムの生育促進及び収量アップといった生産性向上が期待されている。そこで、本研究では、プラズマ照射がソルガムの発芽に及ぼす影響を明らかにするため、網羅的な遺伝子発現解析を行った。さらに、ソルガムの初期生長におけるプラズマ照射の効果も調べた。なお、ソルガム品種はMOROKOSHI Sorghum transcriptome database (Makita et al.2015) 作成で使用したBTx623 (グレイソルガム)を用い、プラズマは空気をガス種として誘電体バリア放電で生成させた。

本発表では、最新の研究成果を踏まえた今後の展開、さらに植物種子へのプラズマ照射の今後の可能性などについて言及したい。

Reference: Makita et al (2015) MOROKOSHI: transcriptome database in *Sorghum bicolor*. 56, e6

2023年（令和5年度）

第二回プラズマ種子科学研究会 講演予稿集

2024（令和6）年 1 月 5 日発行

本予稿集の一部または全部を著作権法の定める範囲を超え、無断で複写、複製、転写することを禁じます。

講演予稿集に掲載された予稿の著作権は、プラズマ種子科学研究会に帰属します。